

cai  
you  
hua  
xue

〔美〕 R. T. 约汉森  
R. L. 伯 格

采  
油  
化  
学

石油工业出版社

## 内 容 提 要

《采油化学》是美国化学协会专题论文集。本书的各篇文章主要介绍和讨论了有关采用化学剂驱油方法的机理、实用价值及试验室进行的初步工作。包括聚合物驱油，苛性碱液驱油和胶束/聚合物驱油的方法等，较深入地探讨了提高三次采油采收率的新发展。

## 采 油 化 学

〔美〕R.T.约汉森 R.L.伯格

李延平 陈传濂 译

\*

石油工业出版社出版

（北京安定门外安华里二区一号楼）

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 32 开本 6 印张 130 千字 印1—2.200

1989 年 3 月北京第 1 版 1989 年 3 月北京第 1 次印刷

书号：15037·2909 定价：1.35 元

ISBN 7-5021-0059-8/TE·59

## 序 言

理解采油过程的化学原理，对发展提高采收率方面的新工艺和改进旧技术有重要意义。本书讨论有关提高原油采收率机理的基础化学问题。

常规的（一次和二次）采油方法一般仅采出油层原油地质储量的一小部分。采用一次采油技术和包括用注气，注水保持压力以增加采收率的二次采油技术，仍将留下大约三分之二的原油地质储量在油层中。在美国，当用常规方法生产的原油产量不断下降时，提高原油采收率将在资源利用方面发挥重要作用。用常规方法采油，很难解决原油被滞留在岩石孔隙中和剩余原油流动性低的难题。

增加原油采收率的方法包括热力采油法，注二氧化碳和化学驱油。热力采油法利用火烧油层或注蒸气。在上两种情况下，油层都被加热，致使原油粘度减小。由于原油在油层中的流动性增加，因此可以采出更多的原油。注二氧化碳法是一种混相驱油过程，在此过程中二氧化碳被注入油层中。在油层中二氧化碳与油形成混相混合物。被溶解的二氧化碳使油的体积膨胀，同时减小油的粘度，因此使原油易于流动，从而提高原油采收率。化学驱油法包括聚合物驱油法、苛性碱液驱油法和胶束/聚合物驱油法等。聚合物驱油法使用流动性控制剂，一般使用多糖类化合物[polysaccharide]或聚丙烯酰胺。将它们加到注入的水中，以便增加驱替流体的粘度。这样可以改善扫油效率，增加原油采收率。在苛性

碱液驱油过程中，碱加到注入水中以某种方式与原油和地层起作用，从而提高原油采收率。关于用苛性碱液驱油提高原油采收率的真正机理现在还有很大的争论。胶束/聚合物驱油是化学驱油在提高原油采收率方面的最新发展。在这种工艺方法中，将一种由表面活性剂、辅助表面活性剂、原油和盐水组成的胶束流体——段塞注入地层。由于界面张力减小，将原油驱向采油井。在胶束物质注入油层后，再注入流动性控制剂（一般用聚合物），以便防止指进和随后通过油层驱动集油带的盐水把段塞分解。

为了提高原油采收率，在实验室和现场还有许多工艺方法在继续试验和研究。

关于控制原油采收率的化学原理和物理机理，准确地预计采收率，还有很多工作需要做。这种不准确性，部分原因是与非均质油层内含油基质的许多参数不能确定有关；另一部分原因是由于不了解作用在油层中流体上的各种力之间的全部相互关系。由本书中所列的一些研究报告，无疑地会开发一些新的化学工艺和参数测量方法，结果将会达到更有效地开采石油资源。

罗伯特·T. 约汉森 罗伯特·L. 柏格

# 目 录

## 序言

1. 在胶束驱油过程中的阳离子交换, 表面活性剂的沉淀和吸附..... ( 1 )
2. 表面活性剂结构对低界面张力的影响..... ( 22 )
3. 纯烷基芳基磺酸盐表面活性剂的相特性..... ( 40 )
4. 羧酸钠的胶体性质..... ( 88 )
5. 采油胶束系统的实验热化学..... ( 100 )
6. 选择天然石油馏分参与降低碱性水溶液系统的界面张力..... ( 113 )
7. 在注碱水驱油中自然乳化和界面流体性质对乳状液的稳定性和聚结的影响..... ( 123 )
8. 控制流动度的聚合物溶液性质比较..... ( 151 )

# 1. 在胶束驱油过程中的阳离子交换， 表面活性剂的沉淀和吸附

小罗伯特·D.沃克等

众所周知，当胶束溶液注入油层时，胶束段塞的组分可以以几种方式影响岩石和地层流体，有相当多的文献报道过这方面的研究工作<sup>[1-8]</sup>。尽管有这些知识，但是仍不能根据基本原理设计三次采油的胶束段塞，因为它包含的现象很复杂，而且目前对这些机理的认识也还不充分。本文主要目的是介绍所选出的岩样及油层岩心的结构和矿物成分，及对表面活性剂溶液的内部、表面活性剂与岩石间相互作用的某些试验结果。试图由这些观察，得出有关的现象和机理，特别是表面活性剂溶失过程方面的某些结论。因为这些因素都可能影响到油和水之间低界面张力的保持。

用选定的粘土样品，测定阴离子表面活性剂吸附等温线的过程中，注意需要对下面两种现象分别地进行研究，即氯化钠对表面活性剂的盐析作用和粘土置换出的钙或镁等多价离子引起的表面活性剂以钙盐或镁盐形式的沉淀。在讨论表面活性剂的吸附之前，先讨论上述每一种现象，以及它们对吸附测量的重要性。

## 电子显微镜检查选取的油层岩心样品

图1是贝瑞(Berea)砂岩和两个油层岩心的断面扫描电子显微照相图〔由阿科公司(ARCO)研究实验室F.W.史密斯博士提供〕。关于样品采样点标明如下：1) 贝瑞砂岩，阿默斯特(Amherst)，洛雷恩(Lorain)县，俄亥俄州。2) 格

林砂层 (Glenn Sand), 格林池 (Glenn Pool) 油田, 克瑞克 (Creek) 县, 俄克拉荷马州。3) 圣安德列斯 (San Andres) 地层, 瓦松 (Wasson) 油田, 雅库姆 (Yoakum) 县, 得克萨斯州。进行这些观察的主要目的是想说明典型的油层岩心在几何学和矿物学方面的非均质性, 图1中的扫描电子显微照相十分清晰地表明了这些特点。在低放大倍数扫描电子显微照相图上可清晰地观察到基本的砂层基质, 而在高放大倍数扫描电子显微照相图上则显示出粘土和其它矿物结构的非均质性, 它们一般分布在砂的表面上, 而不是集中在砂粒之间的胶结桥上。

能量色散X射线分析法 (EDXA) 有助于鉴定特殊晶体中含有的基本化学元素。根据这种方法获得的资料和晶体形状, 就能很好地鉴别当表面活性剂段塞注入岩心或者油藏地层内时, 可能与表面活性剂段塞相接触的矿物。同时, 在揭示出这些样品的基本砂层基质时, 就能够看到在贝瑞砂岩和格林砂层中有特殊粘土矿物的存在, 如高岭石。而白云石则大量出现在圣安德列斯地层的岩心中。

这些扫描电子显微照片清楚地表明, 油层岩石典型的几何学和矿物学上的非均质性。由电子显微照片也可以大致看出粘土和矿物晶体的形状和大小, 看出胶束流体与粘土晶体之间接触的密切程度。最后, 在某些情况下由电子显微照片也可以推测出表面活性剂沉淀的可能性, 例如在圣安德列斯岩心样品中的白云石。

#### **由电解质引起的表面活性剂盐析和沉淀**

油层盐水和表面活性剂的配制液中通常含有相当大浓度的各种电解质。氯化钠的典型浓度是1% (重量) 或更高。也可能含有一定浓度的多价阳离子; 由于多价阳离子的磺酸盐

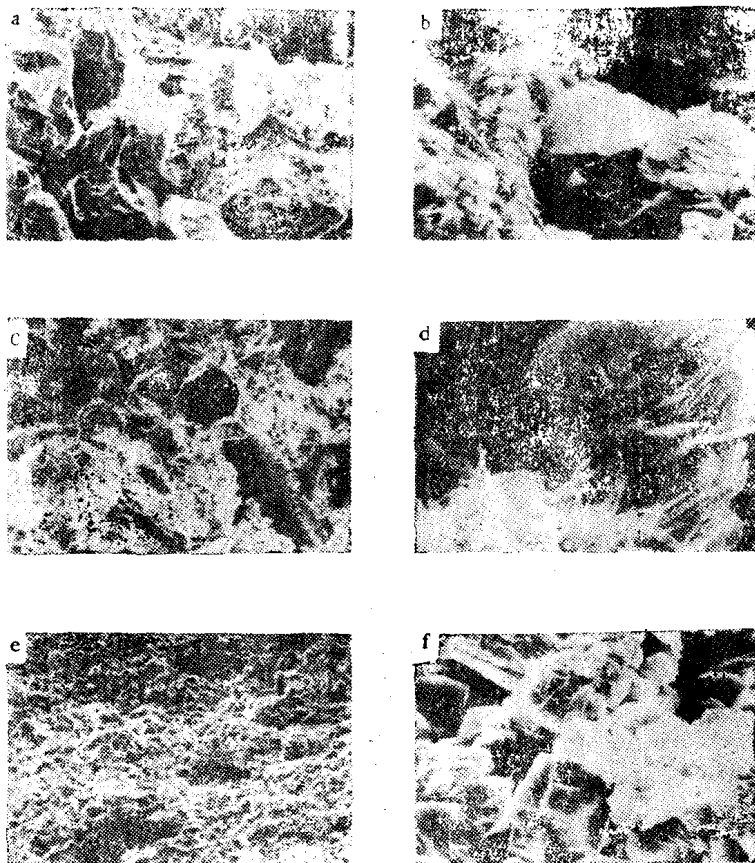


图1 贝瑞砂岩和选取的岩心样品的电子显微照相图

(a) 贝瑞砂岩, 具有代表性的断面, 放大102.75倍; (b) 贝瑞砂岩, 在石英晶体上的粘土, 放大959倍; (c) 格林砂层岩心, 具有代表性的断面, 放大123.3倍; (d) 格林砂层岩心, 在石英上的粘土晶体, 放大3938.75倍; (e) 圣安德列斯岩心, 具有代表性的断面, 放大123.3倍; (f) 圣安德列斯岩心, 粘土和白云石结晶, 放大993.25倍



溶解度低，所以一般情况下都要尽可能地降低多价阳离子的含量。由于通常用于胶束段塞的表面活性剂浓度高，典型的浓度为5%（重量），因此，在用岩心进行试验时，电解质的影响可能被掩盖了。但是，当人们研究平衡吸附时就不能忽视这种情况，实际上它们可能就是观察到的主要现象。

### 氯化钠引起的表面活性剂盐析作用

关于这方面研究的大部分工作就限于脱盐、脱油的烷基苯磺酸盐（脱盐、脱油的方法见参考文献9）。低当量的烷基苯磺酸盐有很好的水溶性，因此，能很好地抗盐析作用。但是，当烷基链包含的碳数超过12个碳原子时，盐析作用就变得越来越显著。为了使胶束溶液保持稳定，防止溶液沉淀，通常采用向胶束溶液中加入短链醇的办法。但是应当注意，这些高浓度的表面活性剂溶液通常含有5%（重量）的表面活性剂，因而常常是混浊的。

在制备一系列用于吸附实验的烷基苯磺酸盐的稀溶液过程中，观察到在上述溶液中加入氯化钠时，它们大多数都会变混浊，并且有相当数量的表面活性剂被盐析沉淀。因为一般认为对于吸附测定需要使用透明的表面活性剂溶液，所以作者较详细地研究了盐析现象，这里介绍了这方面的某些研究结果。

制备选定阴离子表面活性剂的基础水溶液时，如果需要加入醇，就把醇加入到表面活性剂的基础溶液中。这些表面活性剂进行过脱盐和脱油。同时也制备了氯化钠水溶液。为了得到每种组分要求的最终浓度，在10毫升带螺旋塞的试管中，按一定比例加入表面活性剂（或表面活性剂/醇）和氯化钠溶液。进行彻底混合后，取出试管，定期观察试管中溶液是透明和/或沉淀。结果综合在表1中。

表1 由氯化钠引起的表面活性剂的盐析

表面活性剂 1.0%(重量)	SDBS	SPBS	TRS-10-410	Aerosol	OT
表面活性剂 当量重量	348.5	390.5	418	444.5	
氯化钠 % (重量)	醇 5% (重量)				
0	没有 正丁醇 异丁醇 叔丁醇	透明 未试验 未试验 未试验	透明 未试验 未试验 未试验	透明 未试验 未试验 未试验	透明 未试验 未试验 未试验
0.1	没有 正丁醇 异丁醇 叔丁醇	透明 未试验 未试验 未试验	混浊 透明 混浊 混浊	混浊 混浊 混浊 混浊	混浊 混浊 混浊 混浊
1.0	没有 正丁醇 异丁醇 叔丁醇	透明 未试验 未试验 未试验	混浊 透明* 混浊 混浊	混浊、沉淀 混浊、沉淀 混浊、沉淀 混浊、沉淀	混浊、沉淀 混浊、沉淀 混浊、沉淀 混浊、沉淀

\*在1.25% (重量) 氯化钠时变成混浊, 在大约3% (重量) 时发生相分离。

通常, 只要发生混浊或者沉淀, 混浊或沉淀就会立即迅速发展。表1中所示的试验结果说明, 在试验的表面活性剂中, 只有十二烷基苯磺酸钠(SDBS)在盐溶液中是稳定的。对于其它试验的表面活性剂, 只要有0.1% (重量) 的氯化钠就能使整个溶液发生混浊。加入5%的正丁醇可防止十五烷基苯磺酸钠(SPBS)在0.1%和1% (重量) 氯化钠两种溶液中的盐析作用, 但是, 其它丁醇在防止这种表面活性剂的盐析方面均是无效的。似乎还值得注意, 十五烷基苯磺酸钠在含5% (重量) 正丁醇溶液中, 当氯化钠含量达到1.25%

(重量)时, 溶液变得有点混浊了; 在氯化钠浓度达到3%(重量)时, 就分成了两相, 下面的一相透明, 上面的一相有点混浊。看来当表面活性剂的当量超过 350, 氯化钠浓度超过 0.1%(重量)时, 就会发生表面活性剂的盐析作用。加入短链醇似乎只对十五烷基苯磺酸钠(当量=390.5)有效。试验中还观察到在0.1%(重量)的SPBS、TRS-10-410和Aerosol OT溶液中加入1%(重量)氯化钠时, 溶液也变得混浊了, 但是这些数据没有列入表1中。

除了盐析现象本身的重要意义以外, 这些观察对吸附测定也是重要的, 因为由这些试验看出, 当溶液中存在显著量的氯化钠时, 在溶液中表面活性剂的浓度实际上是低于 0.1%(重量), 不仅溶解的表面活性剂浓度低于约0.1%(重量), 而且, 如果盐析出的表面活性剂部分地或者完全与被研究的粘土或者其它吸附剂一起分离, 那么它就会对视吸附(the apparent adsorption)有影响。盐析表面活性剂的完全分离, 导致高的视吸附值和低表面活性剂的平衡浓度; 如果盐析表面活性剂只有极少量(可忽略不计)被分离, 就导致低的吸附值和高的表面活性剂视平衡浓度(apparent equilibrium surfactant concentrations), 而实际溶解的表面活性剂浓度可能很低。这里应该注意到, 阴离子表面活性剂的胶束吸附很小, 或者是不明显的。

这些试验已经清楚地说明, 我们自己测定的某些平衡吸附数据是错误的。文献中的某些数据也可能受到表面活性剂盐析的影响, 其中某些数据应当进行复查。

#### 由多价阳离子引起的表面活性剂沉淀

由多价阳离子引起的阴离子表面活性剂的沉淀是人所周知的, 而且已经充分地进行了研究<sup>[10, 11, 12, 13]</sup>。帕奥尼(Pow-

ney) 和艾迪生(Addison)<sup>[10]</sup>发现, 加入少量的氯化钙到稀的十二烷基硫酸钠溶液中会引起钙盐的沉淀。据报道, 加入少量正乙醇可以推迟到氯化钠浓度较高时才发生沉淀。而皮尔逊(Pearson) 和劳伦斯(Lawrence)<sup>[13]</sup>发现, 增加表面活性剂的浓度, 使其超过临界胶束浓度(Critical Micelle Concentration)值, 就能防止十二烷基硫酸盐的钙盐沉淀, 因为胶束具有固定钙离子的作用。

最近史密斯(Smith)<sup>[8]</sup>, 希尔(Hill) 和莱克(Lake)<sup>[14]</sup>研究了阳离子交换, 因为它影响胶束段塞在典型的油层岩心中的特性。这些作者发现, 在岩心中阳离子交换过程十分复杂, 但是钙和镁实际上可以作为单独的一类来处理。而且他们发现, 在大多数情况下, 岩心的预冲洗可降低表面活性剂的损失。希尔和莱克发现, 用分解碳酸盐类矿物和使粘土转变成它们的钠盐形式的方法, 都可使表面活性剂在岩心中的吸附量降低。

在这些试验中, 使用的表面活性剂都有相当高的浓度。例如希尔和莱克注入一种含 0.046 毫克当量/毫升表面活性剂混合物, 表面活性剂的平均当量值为 410; 因此, 表面活性剂的浓度大约是 1.9% (重量)。因为这种浓度远远超过了溶液中表面活性剂的临界胶束浓度, 多价阳离子可能被胶束束缚住了, 结果没有发生硫酸钙的沉淀。

但是, 在平衡吸附试验中必须使用很低的表面活性剂浓度, 而这些稀的表面活性剂溶液与浓溶液相比, 具有不同的性质。这点由两个不同的试验获得的结果可以明显看出。在第一个试验中, 当一个填充磨碎了贝瑞砂岩的 6 寸柱子, 用 1.0 当量的氯化钠溶液进行阳离子交换时, 一个含有高于 200 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  (用原子吸收光谱测定), 和约为 0.5 倍全孔隙体积的

溶液段塞从柱子流出。 $\text{Ca}^{2+}$  的高峰浓度值大约是1500ppm。当少量的这种溶液加到大约1%（重量）SDBS溶液中时，就会产生大量的白色沉淀。在另一个试验中，把一种含1%（重量）氯化钠的SDBS溶液，按每一克粘土加10毫升液体的比例加到密西西比蒙脱石样品中。在平衡和离心分离固体之后，可以看到有两层固体；下面一层由于含有粘土，因而呈棕黄色；上部固体层接近白色，后来通过研究表明它主要是以磺酸钙和磺酸镁形态沉淀的表面活性剂。

地层盐水中存在多价阳离子，同时由无机矿物，例如石灰石，白云石等的阳离子交换和溶解作用也可产生多价阳离子，因此为了评价多价阳离子在引起表面活性剂沉淀方面的影响，已经开始进行对选定的烷基苯磺酸盐的钙允许含量的研究，总之，这方面的研究进行的还不充分。

**试验方法** 在这些试验中使用的技术十分简单：制备一种表面活性剂的基础溶液，加入不同浓度的氯化钙溶液，并使最后的体积保持一固定值。如果要加入醇，那么醇的加入量应使它与表面活性剂溶液混合后，醇在溶液中最终浓度足以达到3%（重量）。然后把这个试管盖上，放入25°C的恒温器中，以每分钟1转的速度转动24小时。在40°C和60°C下也进行了同样的试验。然后把一部分液体移入吸收室，在650纳米的波长下测定它们的透射率（过去曾经确定，溶液和沉淀在这个波长范围内都是比较不敏感的）。当溶液的透射率与不加氯化钙的表面活性剂溶液的透射率相比降低98%以上时，则认为在此 $\text{Ca}^{+}$ 浓度下表面活性剂开始沉淀。

**用未提纯的表面活性剂的试验结果** 通常，随着氯化钙浓度的增加，一直到开始沉淀之前，透射率不发生明显变化；沉淀开始之后，透射率迅速下降，除非表面活性剂的浓度很

小，一般都能观察到沉淀。随着氯化钙浓度进一步增加，沉淀开始絮凝，溶液最后终于变成透明。加入3%（重量）正丁醇和2-丁醇，可稍微改变溶液的性质，但不能防止沉淀。

对于选定的一组未提纯的烷基苯磺酸盐的钙离子允许含量综合在表2中。虽然这些结果不很精确，但是它们表明在这些表面活性剂的稀溶液中，钙的允许含量相当低。钙的允许含量一般随着表面活性剂当量增加而降低。加入3%（重

表2 未提纯的烷基苯磺酸盐的钙离子允许含量

表面活性剂	温度 °C	开始发生沉淀必须的Ca <sup>+</sup> 浓度, ppm		
		没有醇	3%(重量)正丁醇	3%(重量)2-丁醇
SPBS 0.00625%(重量)	24	24*	24	20
	30	24*	24	20
	40	24*	24	20
	60	24*	24	20
TRS-10-410 0.025%(重量)	24	24	20	20
	30	24	20	20
	40	24	20	20
	60	24	20	20
Petrostep420 0.025%(重量)	24	15	2	2
	30	15	2	2
	40	15	2	2
	60	15	2	2
Petrostep 450 0.0125%(重量)	24	15	2	2
	30	12	2	2
	40	10	2	2
	60	5	2	2
Petrostep 465	24	15	2	2
	30	15	2	2
	40	15	2	2
	60	15	2	2

\*试验精密度大约为±2ppmCa<sup>2+</sup>

量)正丁醇或2-丁醇看来没有改进溶液的稳定性;最后指出,沉淀的开始看来对温度不很敏感。

**用提纯的表面活性剂试验的结果** 用脱盐和脱油的烷基苯磺酸盐进行了与前面类似的一系列试验。除了提纯的表面活性剂表现出明显较低的溶解度外,其它试验结果基本上与未提纯的表面活性剂相同。从 SDBS 溶液中开始产生沉淀时,  $\text{Ca}^{2+}$  离子浓度最小大约是 200ppm, 对于提纯的 SPBS,  $\text{Ca}^{2+}$  离子浓度是 10~20ppm, 对于提纯的 TRS-10-410,  $\text{Ca}^{2+}$  离子浓度大约是 5ppm。在 25~60°C 的范围内, 温度对沉淀的开始相对地说是敏感的, 加入 3% (重量) 正丁醇或 2-丁醇对沉淀的开始形成影响也很小。应当注意, 在所有情况下, 尽管事实上表面活性剂的浓度远远超过了临界胶束浓度(CMC), 但是沉淀仍然产生。简而言之, 在这些试验中, 用胶束固定钙离子不能防止表面活性剂的沉淀。

**测定平衡吸附值的意义** 虽然上述这些试验结果看来与胶束段塞的关系很小, 但是它们与平衡吸附的测定有密切的关系。情况表明, 如果钙离子的浓度超过了开始发生沉淀时需要的  $\text{Ca}^{2+}$  离子的极限浓度 (SDBS 是 200ppm 左右, TRS-10-410 是小于 10ppm), 表面活性剂沉淀就有可能发生。除非吸附剂被强烈地着色和表面活性剂的浓度相当大, 即大于 0.1% (重量), 要想发现表面活性剂沉淀的存在可能有困难。但是, 一旦发生明显的沉淀, 它就会导致错误的吸附数据——正如在好几种情况下我们已经注意到了的那样。使用较高当量的表面活性剂 (当量值大于 400), 显然, 问题就更严重, 而这些高当量值的表面活性剂正是对用胶束驱油, 增加原油采收率最有用的表面活性剂。

应该注意到, 用于这些试验中的表面活性剂是工业产品;

它们是一些化合物的复杂混合物，它们的当量是各组分化合物当量的平均值。在这些试验中没有指出混合物的影响；这方面的情况现在正在研究，并将在以后的刊物中报道。

### 在粘土及有关物质上阴离子表面活性剂的吸附

从早期进行的表面活性剂驱油研究工作已经知道，表面活性剂会吸附在油层的砂和粘土上，并且曾经经常报导专门讨论吸附损失的研究结果<sup>[1-7,15,16,17]</sup>。这些研究结果已经清楚地指出，在用表面活性剂驱油提高原油采收率的过程中，吸附损失和选择性吸附是确定表面活性剂驱油效率和经济可能性的重要因素。但是，吸附机理研究的还不够，而且在这个过程中其它几个现象也表明需要更进一步研究和加深认识。这种研究有其特殊的目的，主要是为了说明过程的机理，并且认识系统参数的主要作用。

**试验的材料和方法** 在30°C和两种盐水浓度（0和1%（重量）氯化钠）下测定了十二烷基苯磺酸钠（SDBS）和脱油的TRS-10-410（一种工业石油磺酸盐，当量是418）在硅胶（Davison Grade 62）和磨碎的贝瑞砂岩上的平衡吸附。

把在110°C下干燥过夜的，已称量的吸附剂放入一个15毫升带螺旋盖的试管中，加入10毫升不含氯化钠或者含有1%（重量）氯化钠的表面活性剂溶液和适量的脱离子水，使吸附剂足以饱和（这个加入量由另外的试验确定，在这个试验中，吸附剂与水或盐水在吸附温度下呈平衡）。试管用聚乙烯膜盖住，把盖拧上，然后把试管装在一个鼓轮上，这个鼓轮在吸附温度下以1转/分的速度转动。转动24小时后（过去的试验已经表明在16小时或者更短的时间内已经达到吸附平衡），取出试管，打开盖子，用离心法分离，可得到一种透明的上层清液；然后从此清液中取样，分析表面活性剂



的含量。分析方法是在酸性硫酸钠溶液中，使表面活性剂与亚甲兰络合，然后用氯仿萃取络合物。当此络合物达到最大吸收值的时候，测定氯仿溶液的吸收系数。根据物料平衡计算溶液的平衡浓度或溶液的残余浓度，测量的精密密度是 $\pm 2\%$ ，试验准确度大约是 $\pm 5\%$ 。

**在硅胶上的吸附** 在 $30^{\circ}\text{C}$ 和 $\text{pH}=5.8$ 的情况下，在溶液不含氯化钠或含有 $1\%$ （重量）氯化钠时，十二烷基苯磺酸钠和TRS-10-410在硅胶上的吸附等温线表示在图2上。虽然这些表面活性剂的当量实际上是不同的（SDBS=348；TRS-10-410=418），但是它们等温线的形状却很类似：在每种情况下都有一个内凹的脚爪，一个台肩和一个长的平缓平顶。在溶液中加入 $1\%$ （重量）氯化钠，结果使SDBS的吸附等温线的平顶（或饱和水平线）明显地降低（由于 $1\%$ （重量）氯化钠能引起TRS-10-410盐析，见表1，所以测不出含

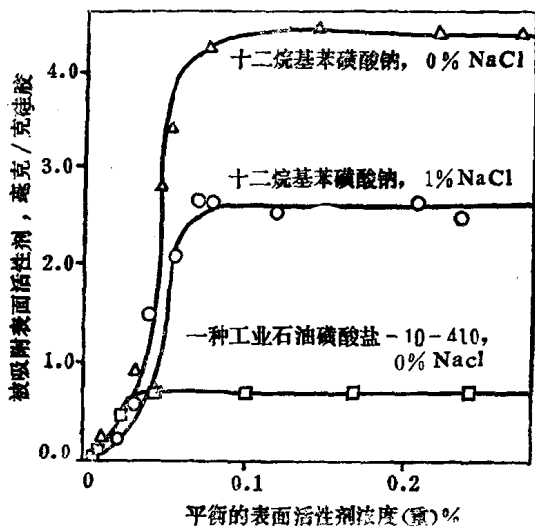


图2 在 $30^{\circ}\text{C}$ 下烷基苯磺酸钠的吸附